Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale

Università degli Studi di Torino

Etude, Installation et Suivi d'une Centrale Solaire Photovoltaïque au service de bâtiments d'intérêt public à Toukounous (Niger)

Localité : Toukounous, Commune de Filingué - Niger

Stefano Bechis

Projet cofinancé par

REGIONE PIEMONTE

INDEX

Résumé 3

Origine du projet 4
La communauté locale de Toukounous 7

Activités préliminaires 7
Partenaires e collaborateurs locaux 7

L'analyse des besoins et l'énergie renouvelable disponible 10
Les besoins en énergie 10
La choix du micro-réseau 15
Radiation solaire disponible 15
Dimensionnement du champ PV selon la nécessité 16

Achat de matériaux 16
Envoi du matériel 17

Mission d'installation au Niger 18
Description du système de production d'énergie 20
Entretien, surveillance et monitorage 32

Conclusions 34

Contacts 35

Annexe 1

Manuel d'utilisation du système photovoltaïque et du réseau électrique 36

Annexe 2

Extrait de la Communication à la Conférence Internationale
sur le Solaire Photovoltaïque de Milan, 3-7 Septembre 2007 44

Résumé

En janvier 2006 dans le cadre du projet « *Intervention d'électrification solaire dans des bâtiments publics dans un village rural au Niger* », cofinancé par la Région Piémont (Italie), un système pour la production d'énergie électrique en micro-réseau en vue de satisfaire les besoins des bâtiments publics du village a été installé au Centre de Santé Intégré (CSI) de Toukounous.

Le projet du système et son installation ont été effectués par le DEIAFA de l'Université de Turin (Département de Economie et Ingegnerie Agraire, Forestière et de l'Environnement), en collaboration avec le CNES (Centre Nationale d'Énergie Solaire – Niger), le DPA (Département de Pathologie Animale de l'Université de Turin), du projet SYRENE (Système Ruraux et Micro entreprises – UE, Niger), et du Département de Production Animale de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

C'est un projet pilote qui cadre bien avec la *Stratégie et le Plan d'Action National sur les Energies Renouvelables* adopté par le Gouvernement du Niger en Janvier 2004 et plus généralement avec la *Stratégie de Réduction de la Pauvreté au Niger*, en cours de mise en œuvre.

Dans le cadre du même projet un système photovoltaïque autonome a été installé à la coopérative féminine de production de fromage AFPEN.

Mots-clé: Photovoltaïque, micro-réseau, monitorage.

Origine du projet

A Toukounous le Centre de Multiplication du Betaille a été objet de nombreux projet de la Faculté Vétérinaire de Turin, en coopération avec l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Au cours d'un de ces projets, le CMB avait été déjà électrifié grâce à un système photovoltaïque au cours d'un précédent projet de l'Université de Turin. Au cours d'une mission au CMB en Juin 2004 une visite avait été organisée à l'école et au Centre de Santé Intégré (CSI) du village. Les deux structures ne disposaient pas d'électricité, avec l'exception d'une salle d'examen équipée avec un petit système photovoltaïque pour l'illumination.
Les salles de l'école étaient de dimension importantes, et avec peu de fenêtres l'intérieur des salles était un peu sombre, mais avec beaucoup de chaleur, à cause de la couverture en tôle sans contre-plaquée et ses rayons infrarouges et le peu de mouvement de l'air.
Un contre plaquée aurait été souhaitable et même de la ventilation aurait pu diminuer la chaleur dans les salles. Les enseignants avaient manifestée l'intention de tenir des cours le soir pour l'alphabétisation des adultes, si la lumière était disponible.

Figure 1 - Une des salles de l'école

Figure 2 - Une autre salle de l'école

Figure 3 - Trois des quatre bâtiments de l'école

Le Centre de Santé est doué de bâtiments en très bon état, avec un système électrique déjà présent en la moitié des bâtiments. Mais le courant électrique n'était pas disponible, de même comme dans l'école, et à cause de la chaleur le seul malade qui était présent était assisté sous la toiture à l'extérieur, pour profiter de l'aération et de la lumière naturelle.

La conservation des vaccins et des médicaments était faite dans un petit frigo à gaz fourni par l'UNICEF, mais à cause du coût très élevé du gaz parfois on faisait recours au frigo du CMB.

Pour améliorer la situation de l'école et du CSI les techniciens de l'Université de Turin ont rédigé un projet pour l'électrification de ces deux bâtiments.

Une partie de ce projet a intéressé la Coopérative féminine AFPEN qui s'occupe du travail di lait afin de la production de fromage. On a décidé de la douer d'un petit système photovoltaïque autonome pour réfrigération des produits et illumination.

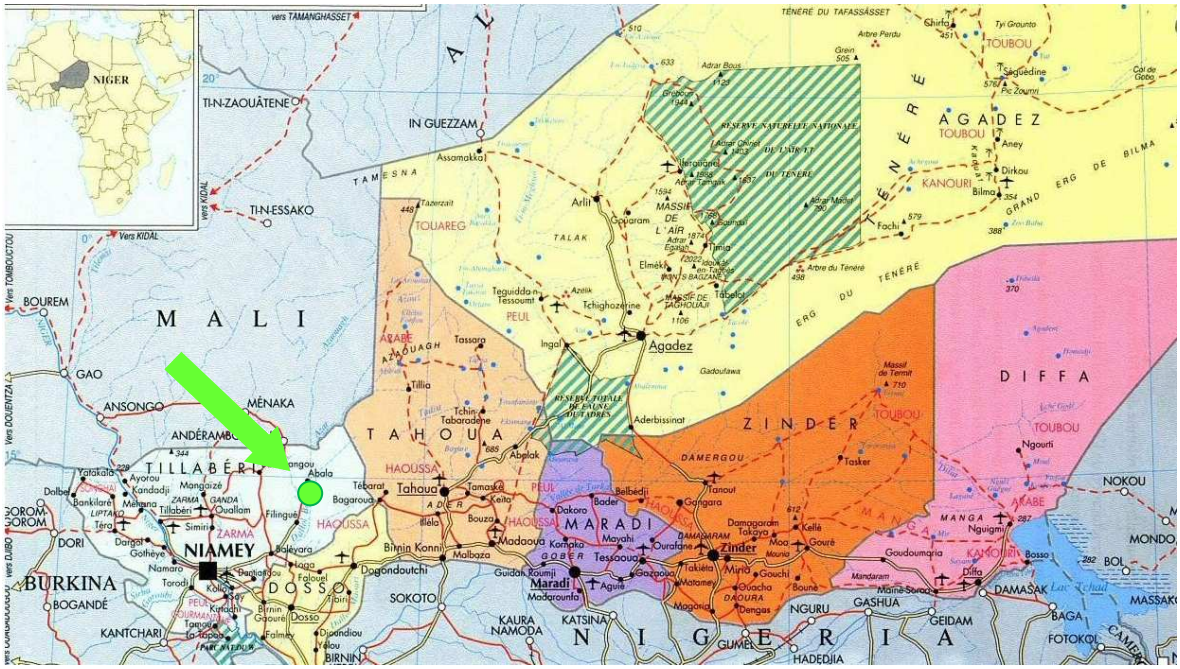
Figure 4 et 5 - une salle du CSI et le frigo à gaz pour les vaccins

Figure 6 et 7 - le panneau de la coopérative féminine AFPEN et les fromages

La communauté locale de Toukounous

Le village de Toukounous se trouve à la latitude 14° 50' N et à la longitude 3° 30' E, à une hauteur de 229 m, dans la mairie de Filingué, environ 200 km au Nord-est de Niamey, la capitale du Niger, à moins de 100 km de la limite du désert du Sahara. La zone climatique est semi-aride, avec une quantité de pluies entre 200 et 600 mm par an, une seule saison des pluies l'été, de juin à septembre, et plusieurs mois de sécheresse sans interruption pendant les autres saisons. Les températures sont très élevées. Le village de Toukounous a 3700 habitants, l'activité économique principale est l'élevage. L'hôpital est utilisé par environ 12000 habitants des villages voisins. 230 élèves, en moyenne vont à l'école de Toukounous, divises en 6 classes.

Figure 8 et 9 - localisation de Toukounous et photo des alentours du village



Activités préliminaires

Partenaires e collaborateurs locaux

Deux partenaires ont pris en charge l'activité de formation, sensibilisation sur le lieu, projet et exécution des travaux de charpenterie (SYRENE), et celles d'installation et monitorage des systèmes photovoltaïques (CNES).
L'activité s'est déroulée aussi avec l'appui de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, di Département de Pathologie Animale (DPA) de l'Université de Turin, et avec l'appui du comité de gestion des installations photovoltaïques et de l'école des citoyens de Toukounous.

Le DEIAFA-MA
Le Dipartimento di Economia e Ingegneria agraria, forestale e ambientale (Département de Economie et Ingénierie agricole, forestière et de l'environnement, http://www.deiafa.unito.it) de l'Université de Turin, compte un total de 51 employés subdivisés en enseignants, chercheurs et techniciens, dont environ un tiers avec des contrats temporaires (vu la mauvaise situation économique générale des universités italiennes).
Le Département est articulé en quatre sections: Economie agraire, Hydraulique agraire, Mécanique agraire, Topographie et construction ruraux.
En particulier ce projet à été conduit par la Section de Mécanique agraire (Meccanica agraria) qui s'occupe d'ailleurs depuis les années 80 de l'application de l'énergie renouvelable dans les milieux ruraux, et dès le début des années 90 a entamé l'étude et l'expérimentation de prototypes de séchoirs solaires adressés aux PVS (« Paesi in Via di Sviluppo » = Pays en voie de développement, PVD ou PED en Français).
Les autres activités de la section sont les suivantes :
1) recherche dans le domaine de la mécanisation agricole et forestière
2) définition et construction de prototypes de machines agricoles
3) contrôle et amélioration des procédés de transformation des produits
4) production de logiciels pour projet et gestion de systèmes agricoles, forestiers et énergétiques

La Section de Mécanique agraire est aussi un des deux centres italiens pour la certification des machines pour la protection des cultures (nébuliseurs).

Le CNES (EX- ONERSOL)
L'Office de l'Energie Solaire (ONERSOL) crée en 1965, était un établissement public de l'Etat Nigérien à caractère industriel et commercial ayant pour mission de:
1. Faire de la recherche appliquée en énergie solaire.
2. Fabriquer et vulgariser des prototypes d'appareils fonctionnant à l'énergie solaire (chauffe-eau, cuisinières, séchoirs, distillateurs..).

Depuis le 15 juin 1998, l'ONERSOL est devenu un établissement public à caractère administratif dénommé Centre National d'Energie Solaire (CNES) placé sous la tutelle du Ministère des Mines et de l'Energie et dont la nouvelle mission est :
1. De conduire des recherches sur l'utilisation des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire et d'assurer la vulgarisation des résultats.
2. De participer à la réalisation d'études prospectives et diagnostiques en matière

d'utilisation des énergies renouvelables pour tous les secteurs de l'économie nationale.
3. De participer à la formation en matière d'énergies renouvelables.
4. De participer à la promotion de la diffusion des équipements en énergie renouvelable.

Le projet SYRENE

SYRENE – 8 ACP NIR 09 était un projet finance par la commission européenne sur les fonds du 8ème Fed et qui s'est termine en 2007. Le Gouvernement de la République du Niger a indiqué à la Commission Européenne que le développement d'un artisanat au service de la production agropastorale est entravé essentiellement par :

a) La faiblesse des structures nationales qui appuient le secteur
b) L'absence d'un environnement incitatif.
c) Les réglementations et les procédures de différents bailleurs qui ne facilitent pas le recours aux micro structures locales.
d) Le manque d'innovation technologique dû à un coût élevé de la recherche appliquée, de la mentalité rurale, du repli sur la tradition et de la peur du risque. Cette carence est particulièrement importante en ce qui concerne les énergies renouvelables et domestiques, ce qui a un impact négatif sur l'environnement.

L'objectif global de SYRENE était de contribuer à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté par le renforcement de l'amont et de l'aval de la production agropastorale.

Les résultats attendus par ce projet étaient :

1) Des micro entreprises artisanales sont aptes à fournir aux producteurs le équipements, éventuellement innovants, nécessaires à leurs activité.
2) Des structures privées, éventuellement organisées en réseau afin de bénéficier de synergies, peuvent apporter un appui en matière de formation, d'information et d'introduction de nouvelles technologies auprès des populations rurales et périurbaines.
3) Les partenaires et plus particulièrement les projets de développement et les services de l'administration nigérienne utilisent les structures de la micro entreprise d 'artisanat utilitaire pour l'exécution de leurs activités en considérant la micro entreprise comme un fournisseur potentiel de biens et d 'équipements aux projets et programmes de développement.

SYRENE, tout en étant en phase avec les orientations de la politique gouvernementale, a su apporter des réponses rapides et adaptées aux besoins exprimés par les artisans en terme d'introduction de nouvelles technologies et de conseil. De plus, les évaluateurs entrevoient une potentielle viabilisation et pérennisation des fonctions développées par SYRENE à travers des structures privées nationales et plus particulièrement le RESEDA (Réseau d'Entreprises pour le Développement de l'Artisanat).

Le RESEDA

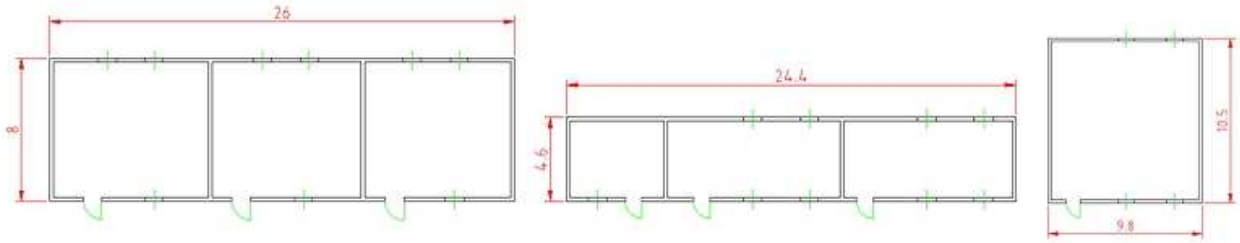
RESEDA (Réseau pour le Développement de l'Artisanat). Est un regroupement d'entreprises, associations et ONG, avec des compétences en termes de Conseil, Fabrication et Formation. RESEDA privilégie les énergies renouvelables et met l'accent sur l'amélioration de la qualité de vie des utilisateurs, sur les activités des femmes, le nombre d'emplois créés et l'amélioration des revenus. Les secteurs d'intervention de RESEDA sont dans les systèmes de puisage (des puits d'eau) entre le système traditionnel et le système mécanisé, couronnes de poulies pour puits, systèmes de pompage solaire mobile, petites adductions d'eau alimentés par l'énergie solaire, séchage solaire.

L'analyse des besoins et l'énergie renouvelable disponible

Les besoins en énergie

Avant tout on a procédé à l'analyse des besoins. Pour l'école il s'agissait de prévoir de l'éclairage pour permettre une activité le soir, même si seulement dans certaines salles, et de prévoir un système de ventilation pour permettre aux élèves et aux enseignants des meilleures conditions dans les classes. Pour le CSI il s'agissait de fournir l'éclairage dans les salles même pour des interventions le soir e la nuit, et de la ventilation pour améliorer les conditions des malades.
Comme l'école le CSI ont un appartement chacun comme pertinence, qui est destiné au directeur de la structure, même pour les deux résidences ont été prévus des points utilisateurs, comme éclairage et prise de courante, afin de permettre aux directeurs de ces structures publiques de travailler aussi chez soi.

Figure 10 - disposition et mesures des bâtiments et des salles de l'école



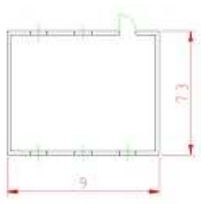


Figure 11 - le CSI. En haut à gauche la maison de la Directrice, Au centre le bâtiment principal, en bas à gauche la toiture ouverte, au centre le petit magasin ou l'armoire et les batteries ont étés placés, en bas à droite le bâtiment de la maternité.

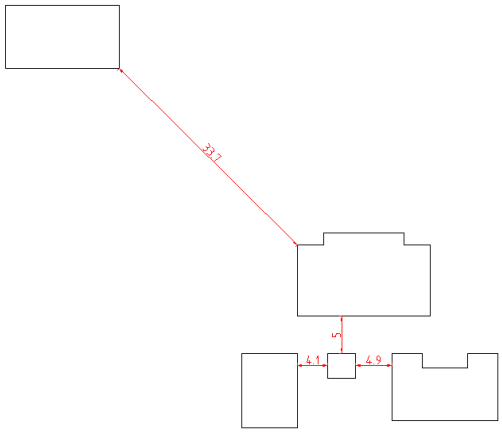


Figure 12 - le bâtiment principal du CSI

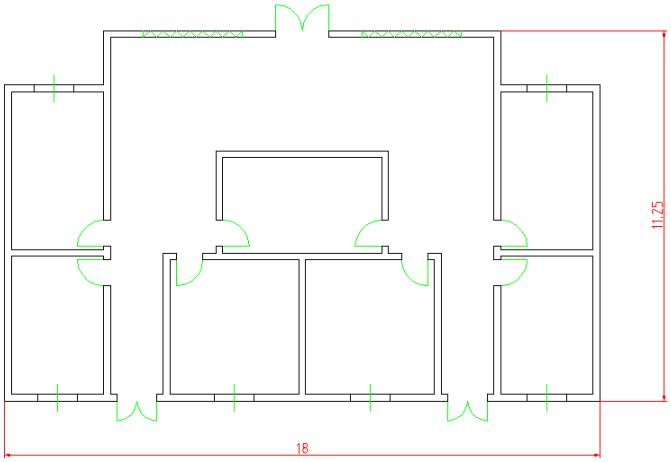


Figure 13 - la maternité du CSI

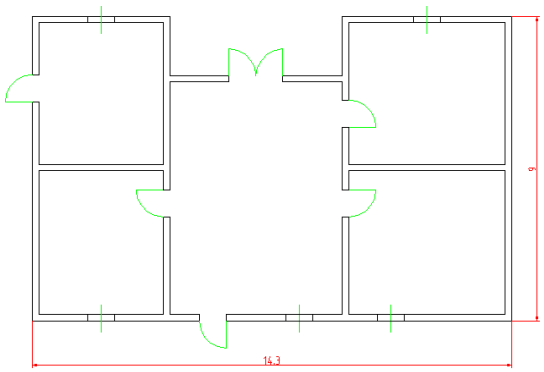


Tableau 1 - la nécessité prévue d'énergie journalière

point utilisateur	puissance W	quantité	fonctionnement heures par jour	consommation par jour Wh/jour
ECOLE				
lampadaires néon	40	4	3	480
ventilateurs	35	7	5	1225
maison du directeur de l'école				
lampadaires	20	2	2	80
prise pour ordonnateur	50	1	2	100
CSI				
lampadaires néon	40	1	2	80
lampadaires néon	20	9	2	360
ventilateurs	35	5	5	875
frigo pour vaccins	45	1	12	540
prises pour instruments	50	1	2	100
maison de la directrice du CSI				
lampadaires 20 W	20	1	2	40
lampadaires 40 W	40	1	2	80
prise pour ordonnateur	50	1	2	100
ONDULEUR	100	1	24	2400
TOTAL				6460

Dans le mois de Février 2005 la mission préliminaire a eu lieu, avec les suivantes objectifs:

1. Tracer le dessin de bâtiments et structures
2. Prendre des accords sur les opérations à faire avec les comités de gestion du CSI et de l'école de Toukounous
3. Définir avec les partenaires locales (CNES, SYRENE) un programme général de travail.

Le 27 février 2005 a eu lieu le meeting général des acteurs du projet. A ce meeting étaient présents:

- la Directrice du CSI Mme Aboubacar
- le Directeur de l'école Mr. Feyssal Hiya et deux enseignants
- le Directeur du CMB, Mr. Chanono
- le Prof. Giuseppe Quaranta du DPA – Faculté Vétérinaire (Université de Turin)
- le responsable du monitorage pour le CNES Mr. Sameye Manou
- le responsable du projet Dr. Bechis et le Dr. Vilianis du DEIAFA

Les bénéficiaires ont pris en charge l'exécution des travaux de préparation pour l'installation, et notamment excavation d'une tranche de 350 m tout le long du village pour

le placement souterrain du câble électrique. A la fin du meeting une lettre d'intention commune a été rédigée et signée par touts les participants.

Figure 14 - Meeting général des acteurs du projet le 27 février 2005 au CSI

Figure 15 - le toit du bâtiment de la maternité du CSI était apte au placement du champ photovoltaïque et on l'a choisi pour ce propos

Figure 16 - Les bâtiments du CSI: à gauche la maternité, à droite le corps principale avec les salles de visite et les bureaux, plus loin un petit magasin et un toiture ouverte

Figure 17 - Le petit magasin et la toiture ouverte. Ce petit magasin était vide et on l'a choisi pour y mettre les batteries et les appareils électriques de réglage

La choix du micro-réseau

Au début l'idée pour la réalisation de ce projet était de construire trois systèmes photovoltaïques séparés. Dans un deuxième moment on a décidé de construire une seule centrale PV avec une micro-réseau pour la distribution de l'énergie au CSI et à l'école, et un système PV séparé pour l'AFPEN.
Les avantages de cette option peuvent se résumer ainsi:
- mineur cout global d'un seule installation par rapport à deux
- possibilité d'expansion du système
- moins de frais pour le monitorage

Les désavantages sont les suivants:
- nécessité de coordonner les utilisateurs (CSI, école) pour la correcte utilisation de l'énergie disponible, pour éviter les coupures
- préparation et mise en œuvre d'une ligne électrique de 350 m de longueur.

Ce dernier point si d'une part est un désavantage, de l'autre coté a permis, en phase de construction, de faire des dérivations pour porter l'électricité au domicile du Directeur de l'école, de la Directrice du CSI et, sous demande, à la mosquée.
En accord avec les comités de gestion on a pris la décision de placer le champ PV au CSI.

La coopérative féminine AFPEN étant trop éloignée du CSI et de l'école, n'a pas pu être branchée au micro-réseau, et a été équipée d'un système PV séparé.

Radiation solaire disponible

Les données de radiation solaire ont été pris du site web de la NASA:
http://eosweb.larc.nasa.gov/
et élaborés avec le logiciel Alpiwatt (www.alpiwatt.it).

Tableau 2 - Radiation solaire moyenne par mois à Toukounous, kWh/m^2-jour (source: NASA, élaboration Alpiwatt, DEIAFA)

mois	radiation sur le plan horizontal	radiation sur surface inclinée vers Sud 15°
Janvier	6.03	6.73
Février	6.53	7.06
Mars	7.08	7.27
Avril	7.31	7.26
Mai	7.26	7.35
Juin	7.38	7.62
Juillet	6.53	6.66
Aout	6.26	6.22
Septembre	6.40	6.48
Octobre	6.44	6.84
Novembre	6.05	6.70
Décembre	5.40	6.13

Dimensionnement du champ PV selon la nécessité

Le champ PV a été dimensionné selon les nécessitées prévues pour e CSI et l'école. Les Sur la base de la nécessité prévue d'énergie journalière (tableau 1) et de la disponibilité de rayonnement solaire (tableau 2) le système photovoltaïque pour alimenter l'école et le CSI a été dimensionné comme suit:

- N° 16 modules PV, 150 Wp, voltage 24 V, pour un total de 2400 Wp à 48 V
- onduleur 48 V CC – 220 V CA, 3000 VA
- chargeur de batteries 48 V - 30 A
- N° 24 batteries 2 V – 300 Ah, pour un système d'accumulation 48 V – 300 Ah
- 350 m de ligne électrique souterraine deux phases, 6 mm^2 chaque.

Le système isolé pour la coopérative AFPEN à été dimensionné avec:

- N° 6 modules PV, 50 Wp, voltage 12 V, pour un total de 300 Wp à 24 V
- onduleur 24 V CC – 220 V CA, 1500 VA
- N° 2 batteries 12 V – 100 Ah, pour un système d'accumulation 24 V – 100 Ah.

Achat de matériaux

Tableau 3 – Matériel acheté en Italie pour le système photovoltaïque

Objet	**Quantité**	**Prix (€)**	**Total (€)**
Module PV 150 Wp	16	580,00	9.280,00
Armoire avec régulateur PV, onduleur, chargeur pour batteries	1	6.000,00	6.000,00
Kit boites de branchement	1	2.000,00	2.000,00
Kit ampèremètre - voltmètre	1	250,00	250,00
Onduleur 600 VA - 24 V	1	750,00	750,00
Régulateur 30 A avec LCD	1	174,00	174,00
Batterie hermétique 12 V – 120 Ah	2	118,92	237,84
Système accumulateurs stationnaires 48 V - 300 Ah	1	2.222,00	2.222,00
Câbles, boites de branchement, interrupteurs, prises et fiches	1	2.261,10	2.261,10
Réfrigérateur pour vaccins	1	737,00	737,00
Transformateur	1	102,00	102,00
Modules PV usagés 50 Wp	6	100,00	600,00
Total			**24.613,94**

Tableau 4 – Matériel acheté en Italie pour l'installation électrique

Objet	***U.M.***	***Q.té***	***Prix €***	***Total €***
Câble pour intérieur 2 phases 2,5 mm^2	m	400	0,60	240,00
Câble pour extérieur 2 phases 6 mm^2	m	550	1,00	550,00
Câble pour extérieur 2 phases 2,5 mm^2	m	50	0,60	30,00
Gaine externe pour câble pour extérieur 6 mm^2 (pour enterrement)	m	500	1,20	600,00
Gaine externe pour câble pour extérieur 2,5 mm^2 (pour enterrement)	m	50	0,80	40,00
Boites de dérivation pour intérieur	Nr.	20	2,80	56,00
Boites de dérivation pour extérieur (pour enterrement) 30x30	Nr.	2	16,00	32,00

Interrupteurs simples	Nr.	15	6,60	99,00
Interrupteurs doubles	Nr.	3	7,80	23,40
Prises	Nr.	25	6,90	172,50
Tubes rigides pour logement câbles à l'intérieur	m	100	2,80	280,00
Crocs-tampons pour fixer les tubes rigides aux murs	Nr.	100	0,25	25,00
Pinces pour peler les fils électriques	Nr.	4	8,50	34,00
Pinces pour couper	Nr.	4	16,00	64,00
Domino 6 mm^2	Nr.	2	1,60	3,20
Domino 2,5 mm^2	Nr.	10	0,80	8,00
Scotch isolant	Nr.	5	0,80	4,00
TOTAL				**2.261,10**

Envoi du matériel

Le matériel a été envoyé par box - container, longueur 20 pieds. Dans le tableau de suite les principaux données de l'expédition
Le container a été rempli aussi avec du matériel pour un autre projet du Département DPA (Pathologie Animale) de la Faculté Vétérinaire.

Voix	**Valeur**
Jours pour l'expédition	65
N° colis	81
Masse lourde	kg 2.029
Masse nette	kg 1.850
Valeur de la marchandise	€ 30.111,55
Couts	
Décharge-Charge magasin	€ 170,00
Retirer la marchandise	€ 850,00
Taxe transit 0,50%	€ 161,55
Assurance maritime	€ 137,00
Expédition à F.O.B.	€ 650,00
Location espace navire Q.P. étrangère 95%	€ 3.657,50
Location espace navire Q.P. national 5%	€ 192,50
TOTAL COUT EXPEDITION	**€ 5.848,55**

Mission d'installation au Niger

A cette mission au Niger ont participé trois personnes du DEIAFA: le responsable du projet Dr. Stefano Bechis et le Dr. Andrea Vilianis pour le période 17 janvier - 8 février 2006 – et l'Ing. Davide Ricauda Aimonino pour le période 31 janvier - 8 février 2006. Le Dr. José Luis Minati du DIVAPRA - Université de Turin, a coopéré à la première partie des travaux, à l'occasion de sa présence sur le lieu pour un autre projet.

Dès l'arrivée de la mission à Toukounous la tranchée pour la ligne souterraine prédisposé par les citoyens de Toukounous était déjà presque prête.

Figure 18 - La tranchée vers l'école (bâtiment avec portes et fenêtres claires, au fond)

Figure 19 - Travail sur la tranchée ou le câble électrique est posé (longueur: 350 mètres)

Figure 20 - Dérivation de la tranchée à un point utilisateur

Figure 21 - Les batteries, 24 éléments de 2 V 300 Ah chacun, branchés en série

Dans la soirée du 25 Janvier une assemblée générale des acteurs du projet a eu lieu pour présenter le projet, l'état d'avancement, et pour donner des informations utiles pour l'utilisation du système. L'assemblée était ouverte à tous les citoyens qui voulaient y participer.
Une délégation de citoyens de Toukounous a demandé que la mosquée aussi fut branché au système électrique. Du moment que ce n'était pas prévu dans le projet, on a expliqué que la chose était possible du point de vue technique, mais pour la réaliser il fallait l'accord de tous du moment que l'énergie absorbé par la mosquée (essentiellement pour l'haut-parleur à l'heure de la prière) devrait obligatoirement être soustraite au CSI et à l'école. La Directrice du CSI et le directeur de l'école se sont déclaré d'accord, et ont signé un document pour approuver la modification.

Description du système de production d'énergie

Ce système, produit par PROMEC elettronica de Ivrea (Italie), fournit du courant alternatif 220 V à partir de modules solaires photovoltaïques, Il est équipé d'un chargeur de batteries qui lui permet, si nécessaire, d'y intégrer un générateur à moteur.
La configuration du système installé est la suivante :

- champ PV de 22,5 m2, 48 V – 2400 Wc comprenant 16 modules de 24 volts/6,25 A
- un régulateur de charge des batteries
- un onduleur 48 V CC – 220 V CA, 3000 VA
- un chargeur de batteries 48 V - 30 A
- un système de stockage 48 V – 300 Ah comprenant 24 batteries de 2V/300Ah.

Les modules PV sont branchés à deux à deux en série pour obtenir une tension de 48V. Ces séries sont branchés à deux à deux en parallèle, pour obtenir un total de 4 ensembles

en série-parallèle de 4 modules chacune. Ces 4 ensembles en série-parallèle sont individuellement branchés au régulateur.

Le champ PV est fixé sur une structure métallique fixée sur le toit du bâtiment de la maternité du centre sanitaire, il est orienté vers le sud et il a une inclination de 15° sur l'horizontal. La structure métallique est surélevée de 50 cm du toit. Pour éviter les problèmes de stabilité la position des modules est fixe, donc l'inclinaison et l'orientation ne sont pas modifiables.
Le régulateur de charge, l'onduleur et le chargeur des batteries sont fixés dans une armoire métallique, où règne une bonne circulation de l'air pour le refroidissement de ses composants. L'armoire et le système de stockage sont placés dans le magasin du CSI.
Les batteries aussi sont placées dans le magasin, sur une structure métallique évitant ainsi qu'elles soient à même le sol.
Le système est prédisposé pour augmenter la puissance jusqu'à 6000 VA (doubler la puissance actuelle) par l'installation d'un autre onduler PROMEC de 48 V - 3000 VA, si dans le futur les points utilisateurs dans le village augmenteront. Le système peut être branché à un groupe électrogène pour la fourniture d'énergie et la charge des batteries.

Figure 22 - installation du champ photovoltaïque de 2,4 kWp sur le toit du CSI. A gauche l'Ingénieur Souleymane Salifou, responsable de l'entretien du système solaire

Le micro-réseau est basé sur une ligne souterraine de 350 m de longueur, composée par un câble par extérieur à double gaine, à deux phases de 6 mm^2 qui va du CSI à l'école. La ligne est à une profondeur entre 40 et 50 cm à l'intérieur d'un tuyaux plastique de protection.
Les appareils électriques de contrôle et protection sur la ligne sont:
1) 1 disjoncteur général
2) 3 disjoncteurs différentiels (un pour chaque ligne partant de la cabine électrique au CSI)

6 interrupteurs à l'entrée des bâtiments (maternité, bâtiment principal du CSI, maison de la Directrice du CSI, maison du Directeur de l'école, mosquée, école)

La solution du micro-réseau avec production d'énergie en un seul endroit et sa distribution dans plusieurs bâtiments a été choisie pour plusieurs motifs:
a. meilleure performance d'un grand appareil électrique (un seul régulateur, un seul onduleur) par rapport à plusieurs plus petits
b. meilleure performance d'une grande batterie professionnelle par rapport à plusieurs plus petites batteries
c. localisation de la centrale en un lieu unique, bien gardé.
d. possibilité d'extension du micro-réseau vers l'Est en direction du Centre de Multiplication du Bétail.

Le câble souterrain qui forme le micro-réseau a été surdimensionné pour une éventuelle extension dans le futur suivant les besoins du village. Les éléments du micro réseau et les récepteurs installés son les suivants:
1) 1 frigo pour vaccins, 40 litres, avec son alimentateur 12 V
2) 1 batterie de secours pour le frigo, 12 V - 45 Ah
3) 10 ventilateurs et leurs rhéostats
4) 5 ampoules néon de 40 W et leurs interrupteurs
5) 14 ampoules néon de 20 W et leurs interrupteurs
6) 10 prises de courant

Accessoires (câbles, boites de dérivation etc.)

Les récepteurs ont été répartis comme ci-dessous :

1) bâtiment de la maternité au CSI
3 ampoules 20 W,
3 ventilateurs,
3 prises de courant

2) bâtiment principal du CSI :
1 ampoule 40 W,
6 ampoules 20 W,
6 prises de courant,
2 ventilateurs,
1 frigo pour vaccins VITRIFRIGO (Italie), 40 litres, avec son alimentation de secours 12 V qui est fourni d'une batterie de secours 12 V – 45 Ah

3) Magasin du CSI :
1 ampoule 20 W

4) Maison de la directrice du CSI:
2 ampoules et une prise de courant

5) Mosquée :
1 ampoule et une prise de courant

6) Maison du directeur de l'école :
2 ampoules et une prise de courant

7) Ecole :
4 ampoules 40 W,
7 ventilateurs

Pour limiter la consommation les rhéostats des ventilateurs ont été modifiés t : la première vitesse a été éliminée.

Le système autonome installé près de la coopérative AFPEN est composé par:

- N° 6 modules PV 12 V, qui composent un champ de 2,7 m^2, 24 V – 300 Wc
- N° 1 régulateur de charge des batteries
- N° 1 onduleur 24 V CC – 220 V CA, 2000 VA
- N° 2 batteries 12 V – 120 Ah, branchées en série

Le champ photovoltaïque est fixé à une structure métallique sur le toit du bâtiment de l'AFPEN. Les modules sont branchée à deux à deux en série et les trois séries en parallèle
A la coopérative on a fourni une ampoule néon 20W et une prise de courante 220 V CA, pour une utilisation qui sera soit un séchoir solaire soit une petit frigo selon les décisions qui seront prises par la coopérative,.

Figure 23 - position des bâtiments électrifiés. Le parcours du micro-réseau est indiqué par la ligne verte.

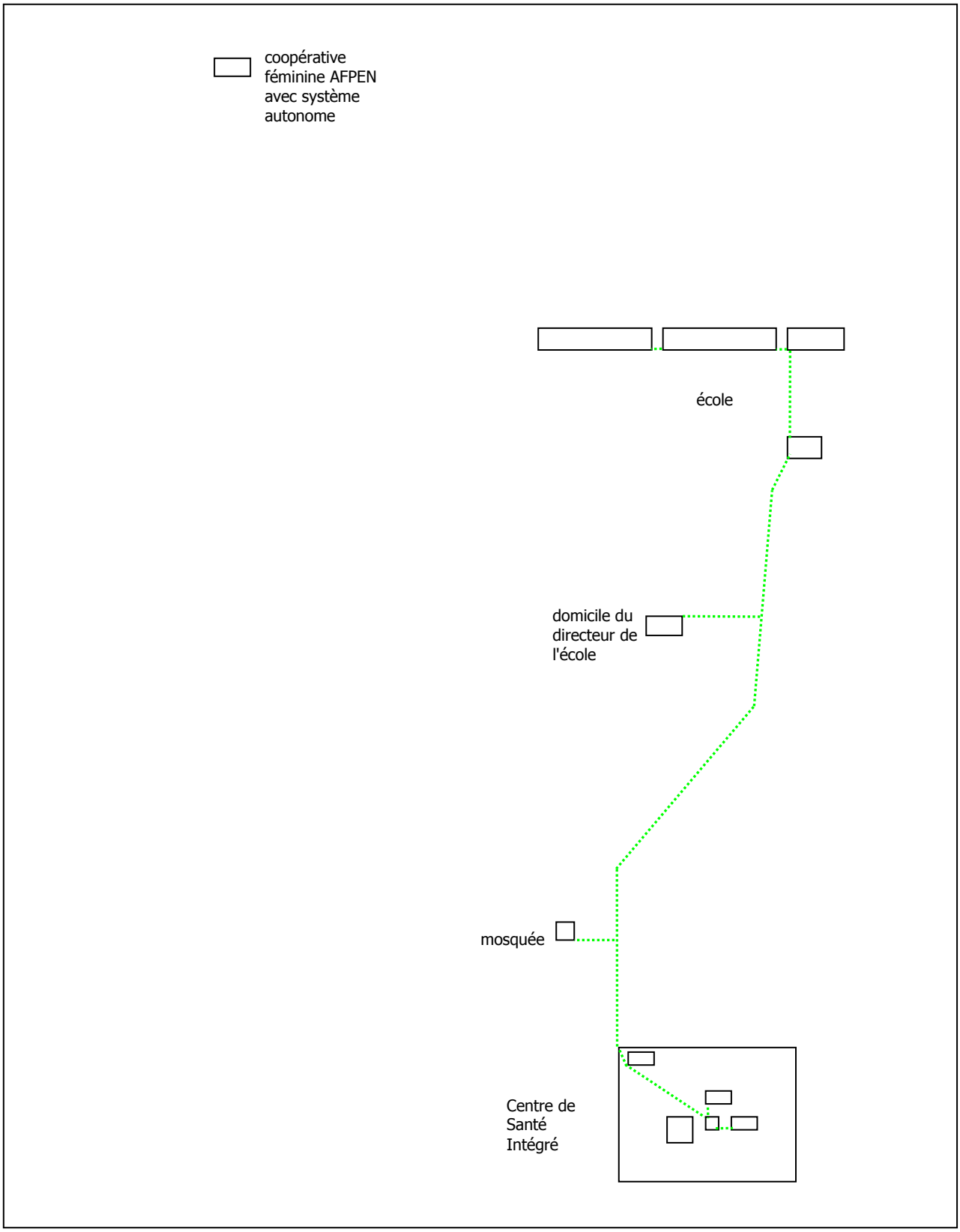


Figure 24 - Le champ photovoltaïque terminé sur le toit du bâtiment de la maternité

Figure 25 - Détecteur de radiation solaire

Figure 26 - Meeting du 25 Janvier

Figure 27 - Le réfrigérateur pour vaccins selon normes OMS, dans le bâtiment principal du CSI

Figure 28 - Préparation pour l'installation d'un ventilateur

Figure 29 - Dérivation pour une lampadaire néon dans une salle du CSI

Figure 30 - Ventilateur et lampadaire néon installés dans une salle du CSI

Figure 31 - salle de l'école équipée avec deux tubes néon de 40 W de puissance chacun et un ventilateur

Figure 32 - salle de l'école équipée avec un ventilateur

Figure 33 - La coopérative féminine de production de fromage AFPEN équipée avec un système photovoltaïque autonome

Figure 34 - Les simples points utilisateurs de la coopérative AFPEN: une tube néon et une prise de courante 220 V CA

Figure 35 - Préparation au monitorage. A droite l'armoire avec régulateur de courante, onduleur, chargeur des batteries

Figure 36 - Le cadre général de distribution de l'énergie, ouvert. D'ici démarrent trois lignes: 1. bâtiment maternité; 2. bâtiment principal du CSI; 3. école

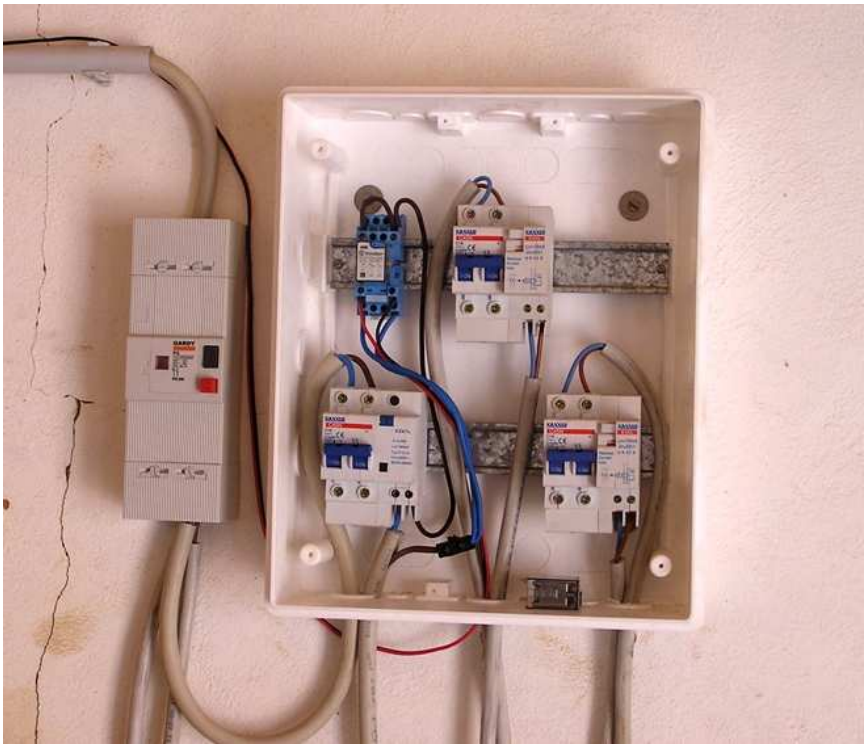


Figure 37 - Tableau du projet, affiché près de la centrale photovoltaïque

ÉLECTRIFICATION SOLAIRE DE BÂTIMENTS PUBLICS DANS UN VILLAGE RURAL AU NIGER
UNIVERSITE ABDOU MOUMOUNI DIOFFO
CNES-CENTRE NATIONAL ENERGIE SOLAIRE
UNIVERSITE DE TURIN
- DEPARTEMENT D'ECONOMIE ET INGENIERIE AGRICOLE, FORESTIERE ET DE L'ENVIRONNEMENT
- DEPARTEMENT DE PATHOLOGIE ANIMALE
UNIVERSITA DEGLI STUDI DI TORINO
FACOLTA AGRARIA
I CAMPI DELLA SCIENZA
SYRENE-RESEDA
Tél 73.2116 - profor@intnet.ne
www.niger-ue.net
REGIONE PIEMONTE

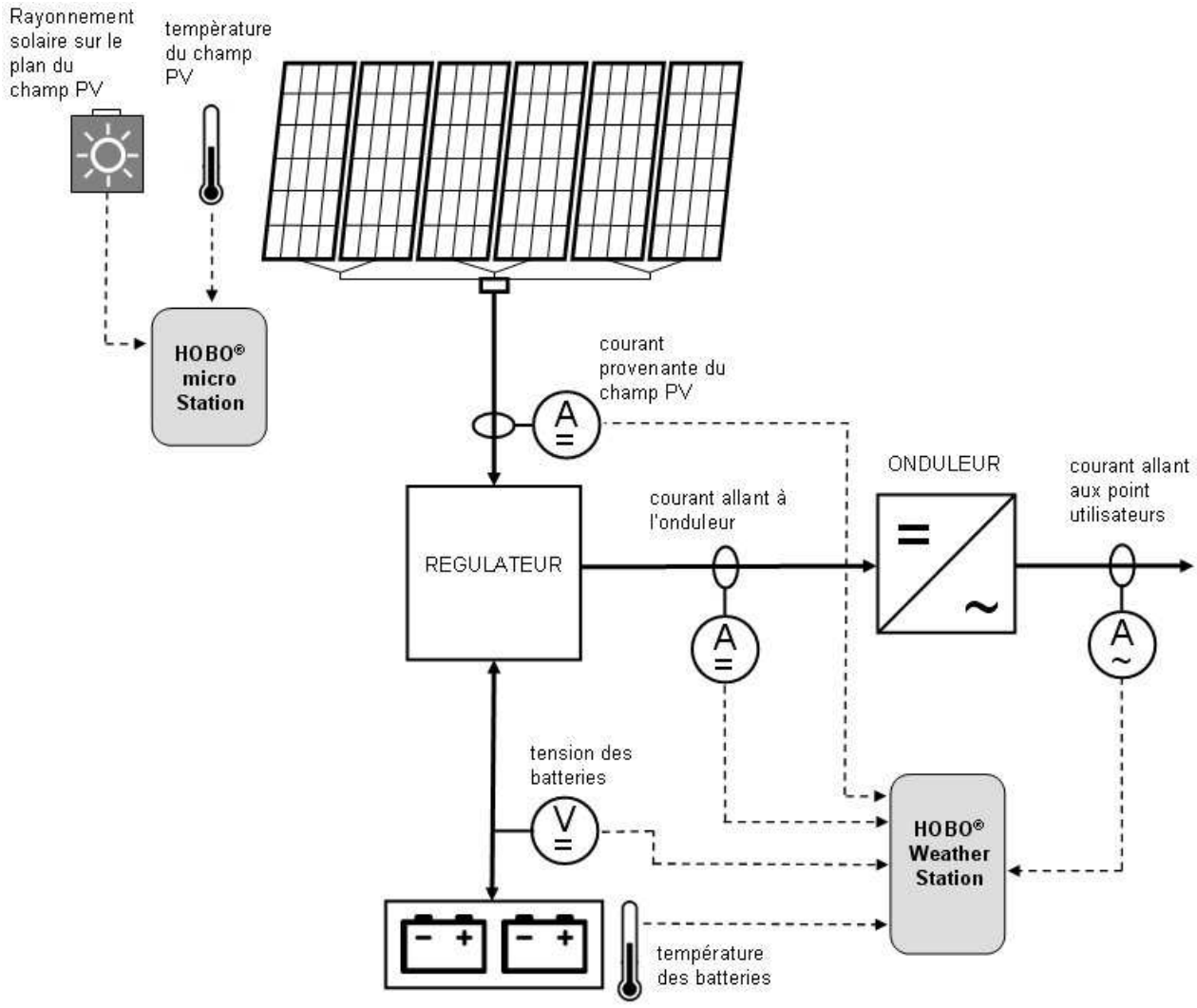
Figure 38 et 39 - Cérémonie d'inauguration de la centrale photovoltaïque lundi 6 février

Entretien, surveillance et monitorage

L'entretien et surveillance du fonctionnement du système ont été confiés au CNES de Niamey et à l'Ingénieur Souleymane Salifou, résident à Toukounous.
Le système a fait l'objet de monitorage avec acquisition de données en automatique à partir de l'installation. La durée du monitoring a été prévue sur une année. Les paramètres, objet du monitorage ont été:

1) le flux de courant qui arrive du champ PV
2) le flux de courant (en courant continu) qui va vers l'onduleur
3) le flux de courant (en courant alternatif) qui va vers les récepteurs
4) la tension des batteries
5) le rayonnement solaire
6) la température des modules photovoltaïques
7) la température du local technique où sont installés les appareils et les batteries.

Figure 40 - schéma du système d'acquisition des données



Ce qu'on voulait quantifier était la production d'énergie, le rendement des modules PV, le rendement global du système, y compris les batteries et les appareils, le niveau de consommation électrique des récepteurs.
D'une manière générale, l'installation, conçue pour satisfaire les besoins qui avaient été identifiés lors de la mission d'évaluation a répondu aux attentes.
Quelques problèmes de fonctionnement ont été enregistrés au niveau du régulateur de courant, au début. En effet, du fait d'une lecture erronée de l'état de charge des batteries, celles-ci ont été insuffisamment chargées pour quelques temps. Ce problème, qui a été la cause de coupures de courant le soir, était survenu à cause d'un composant électronique, très simple, et a été solutionné quand on a envoyé d'Italie, par Promec, un nouveau composant électronique en substitution.
Les résultats du monitoring ont été objet d'un présentation à la Conférence Internationale sur l'Energie Solaire Photovoltaïque de Milan (Italie) en Septembre 2007, organisé par la WIP de Munich (Allemagne) L'activité a été expliquée par moyen d'un poster qui a gagné la compétition pour le meilleur poster pour le thème du "PV déploiement". Dans l'Annexe 2 la relation scientifique présentée dans les actes de la Conférence de Milan (en anglais).

Conclusions

On peut affirmer que du point de vue technique le système est bien adapté pour satisfaire les besoins identifiés pour les bâtiments publics du village de Toukounous. Les utilisateurs en sont satisfaits.
Il a été très important de prévoir dans le projet une continuité dans l'entretien et la surveillance du bon fonctionnement. Ce type d'installation ne doit pas être faite et abandonnée simplement à son destin. Pour assurer la pérennité de l'installation, s'agissant de son entretien courant, une cotisation des bénéficiaires a été instaurée. De sorte que l'argent ainsi collecté pourra servir par exemple au renouvellement des batteries une fois arrivée à terme leur durée de vie.
Deux limites ont étés mises en évidence:
la première, la documentation technique fournie avec les appareils électriques n'est pas encore suffisante pour permettre une réparation sur place par le personnel local. Cette chose semble être commune à toutes les industries des pays industrialisés, où normalement en cas de panne il y a un technicien qui arrive à résoudre le problème;
la seconde, c'est la difficulté de trouver au Niger les pièces de rechange électroniques qui peuvent être utilisées pour les petites réparations des installations, problème qui ne se pose pas en Europe.

Par ailleurs il a été constaté que même loin des villes, il y a des compétences techniques bien développés, donc des potentiels humains susceptibles de gérer ce type d'installations. C'est le cas à Toukounous.
Dans tout projet similaire il est souhaitable de toujours prévoir un suivi des installations par des personnes qualifiées.
Plus généralement, pour favoriser l'électrification rurale il s'avère indispensable que les fournisseurs de technologie produisent en accompagnement de leur fourniture une documentation technique une plus détaillée et que des distributeurs de matériels électronique et pièces détachées puissent fournir une plus grande variété de produits pour les divers besoins qui peuvent s'exprimer.

****

CONTACTS

Stefano Bechis
Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale
Università degli Studi di Torino
via Leonardo da Vinci 44
10095 Grugliasco (TO) Italia
tel. +39 011 6708589
fax +39 011 6708591
courriel: stefano.bechis@unito.it

CNES, Centre National d'Energie Solaire
Niamey, Niger
Ing. Abdoussalam Ba, Ing. Sameye Manou
telephone +227 723923
courriel: cnes@intnet.ne

SYRENE Systèmes Ruraux et Micro Entreprises
Niamey, Niger
Cav. Paolo Giglio
telephone +227 20371001
courriel: paolo.giglio@fastwebnet.it

Annexe 1

Manuel d’utilisation du système photovoltaïque et du réseau électrique

Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale

Università degli Studi di Torino

Manuel d'utilisation du système photovoltaïque et du réseau électrique installés pour des bâtiments d'utilité publique de Toukounous – Commune de Filingué, République du Niger

Ce système pour la production d'énergie a été installé dans le cadre du projet « *Intervention d'électrification solaire dans des bâtiments d'utilité publique dans un village rural au Niger* », cofinancé par la Région Piémont (Italie).
Le projet du système et son installation sont été effectués par le DEIAFA de l'Université de Turin (Département de Economie et Ingegnerie Agraire, Forestière et de l'Environnement), en collaboration avec le DPA (Département de Pathologie Animale de la même Université), du projet SYRENE (Système Ruraux et Microentreprises – UE, Niger), du CNES (Centre Nationale d'Énergie Solaire – Niger) et du Département de Production Animale de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

Projet cofinancé par la Région Piémont – Italie

Sommaire

1. Description du système de production d'énergie 2
2. Connections électriques du système de production d'énergie 2
3. Utilisation du système de production d'énergie 3
4. Entretien du système de production d'énergie 4
5. Description du réseau électrique avec ses propres charges 4
6. Utilisation du réseau électrique avec ses propres charges 6
7. Entretien du réseau électrique avec ses propres charges 7

Le système se compose de deux parties : le *système de production d'énergie*, placé au CSI (Centre Sanitaire Intégré) et le r*éseau électrique avec ses propres points d'utilisation électriques*, pour l'alimentation du CSI, de l'école, de la maison de la directrice du CSI, de la maison du directeur de l'école et pour l'alimentation de la mosquée.

1. Description du système de production d'énergie

Ce système, produit par PROMEC elettronica de Ivrea (Italie), fournit du courant alternatif 220 V par des modules photovoltaïques, donc il s'agit d'énergie renouvelable fournie par le soleil. Il est équipé d'un chargeur de batteries qui lui permet, si nécessaire, d'être intégré par un générateur à moteur.
La configuration du système installé est la suivante :

- N° 16 modules PV, voltage 24 V, courant maximal 6, 25 A, qui compose un champ PV de 22,5 m^2, 48 V – 2400 W_{max}
- N° 1 régulateur de charge des batteries
- N° 1 onduleur 48 V CC – 220 V CA, 3000 VA
- N° 1 chargeur de batteries 48 V - 30 A
- N° 24 batteries 2 V – 300 Ah, qui composent un sys tème d'accumulation 48 V – 300 Ah.

Le système est prévu pour augmenter la puissance jusqu'à 6000 VA (doubler la puissance actuelle) par l'installation d'un autre onduler PROMEC de 48 V - 3000 VA. Le système peut être branché à un groupe électrogène pour la fourniture d'énergie et la charge des batteries.
Le champ PV est fixé sur une structure métallique fixée au toit du bâtiment du centre sanitaire appelé « maternité », il est orienté vers sud et il a une inclination de 15° sur l'horizontal. La structure métallique est soulevée de 30 - 50 cm du toit. Pour éviter les problèmes de stabilité la position des modules est fixe, donc inclination et orientation ne sont pas modifiables.
Le régulateur de charge, l'onduleur et le chargeur des batteries sont fixés dans une armoire métallique, qui permet une bonne circulation de l'air pour le rafraîchissement de ses composants et est placée dans le petit magasin du CSI.
Les batteries aussi sont placées dans le magasin, sur une structure métallique qui les soulève du sol.

2. Connections électriques du système de production d'énergie

Les modules PV sont branchés deux à deux en série en façon d'obtenir 48 V CC, les séries sont branchées deux a deux en parallèle, donc il y a 4 lignes de courant qui vont au régulateur, chacune alimentée par 4 modules.

Le régulateur de charge prévoit 4 groupes d'entrée d'énergie du champ PV, chacun est coupé successivement et automatiquement, à partir du n° 4 jusqu'au n° 1, s'il n'y a pas nécessité d'énergie et si les batteries sont déjà bien chargées; le régulateur permet de les charger jusqu'à 54 V.
Pour la connexion / déconnexion des 4 lignes du système PV au régulateur il faut ouvrir l'armoire et agir manuellement avec tournevis et scotch isolant (Attention ! Eviter court-circuit entre les modules, ça va être dangereux pour les modules et pour l'opérateur).
Pour la connexion / déconnexion des batteries au régulateur on peut agir sur les 2 fusibles 100 A ; après, si nécessaire, on peut ouvrir l'armoire et agir manuellement avec tournevis et scotch isolant (Attention ! Eviter court-circuit, ça va être assez dangereux pour l'opérateur, risque mortel)
Pour la connexion / déconnexion du régulateur à l'onduleur il faut agir sur l'interrupteur de sortie de l'énergie CC du régulateur et sur le fusible 100 A d'entrée de l'énergie CC sur l'onduleur.
Pour la connexion / déconnexion de l'onduleur au réseau électrique il faut agir sur l'interrupteur de sortie AC sur l'onduleur.

3. Utilisation du système de production d'énergie

L'onduleur, qui transforme le courant continu électrique 48 V en courante alternatif 220 V – 50 Hz, a une puissance maximale de 3000 VA. Une puissance de pic de 6000 VA peut être fournie pour une période de quelques secondes. Il y a un fusible 100 A de protection de l'onduleur pour couper le courant continu, cela réduit la puissance de pic disponible à environ 5000 VA : pour toute utilisation qui requiert une puissance supérieure il faut prévoir une autre modalité d'alimentation (générateur à moteur). En effet ce système est conçu pour une utilisation civile (nombreux petits points utilisateurs : lumières au néon, petits ventilateurs, radios, ...) et pas pour une utilisation d'entreprise.
L'énergie moyenne que le système peut fournir chaque jour au réseau électrique est 4200 Wh (19 Ah – 220 V).
En cas de surchauffe de l'onduleur (ou du régulateur) cet élément peut s'arrêter pour se refroidir : la lumière rouge de panne « GUASTO » est allumée. Il faudra :

1. mettre les interrupteurs sur OFF,
2. ouvrir les fusibles
3. attendre 5 minutes
4. fermer les fusibles
5. remettre les interrupteurs sur ON

le magasin ou il y a les batteries et l'armoire doit être bien aéré en général, mais en cas de forte pluie il faut bien fermer les fenêtres pour éviter que l'eau puisse entrer dans le local et endommager les appareils électriques. Après la pluie il faudra ouvrir à nouveau les fenêtres.

4. Entretien du système de production d'énergie

Opération	*Fréquence*	*Description*
Nettoyage des modules sur le toit	1 fois par semaine	Nettoyer seulement avec de l'eau. Ne pas frotter la surface transparente ni avec chiffons, ni avec les mains, ni avec d'autres choses.
Contrôle niveau de l'électrolyte dans les batteries	1 fois par mois	Si le niveau est sous le minimum (plaques hors liquide) ajouter de l'eau déminéralisé. Ne pas remplir trop. Pendant l'opération utiliser des gants et des vêtements longs, ne pas inhaler les vapeurs : l'acide est très dangereux ! En cas de contact avec la peau ou les yeux se laver tout de suite avec une grande quantité d'eau. A la fin de chaque opération bien laver les gants et tous les outils qui ont touché l'acide
Contrôle de l'armoire	1 fois par mois	Vérifier l'intégrité de la protection (moustiquaire et filet métallique) contre l'entrée des insectes et autres animaux (lézards, ...) qui pourraient causer des cour circuits avec conséquences graves pour le système
Contrôle voltage des batteries	En relation à la hauteur de décharge des batteries	Si le soleil est couvert et l'utilisation d'énergie abondante il faudrait prévenir les black-out et diminuer la consommation d'énergie en arrêtant les appareils (ventilateurs, lumières, etc.) non strictement indispensables.

5. Description du réseau électrique avec ses propres points d'utilisation

1 ligne électrique souterraine de 350 m : deux phases 6 mm^2 allant du CSI à l'école
1 disjoncteur général
3 disjoncteurs différentiels (un pour chaque ligne partant de la cabine électrique au CSI)
1 frigo pour vaccins, 40 litres, avec son alimentateur 12 V
1 batterie de secours pour le frigo, 12 V - 45 Ah
10 ventilateurs et leur régulateurs
5 ampoules néon de 40 W et leur interrupteurs
14 ampoules néon de 20 W et leur interrupteurs
10 prises de courant
Accessoires (câbles, boites de dérivation etc.)

Les points d'utilisation ont été distribués comme ci-dessous :

- Bâtiment de la maternité au CSI : 3 ampoules 20 W, 3 ventilateurs, 3 prises de courant

- Bâtiment principal du CSI : 1 ampoule 40 W, 6 ampoules 20 W, 6 prises de courant, 2 ventilateurs, 1 frigo pour vaccins VITRIFRIGO (Italie), 40 litres, avec son alimentateur 12 V qui est fourni d'une batterie de secours 12 V – 45 Ah
- Magasin du CSI : 1 ampoule 20 W
- Maison de la directrice du CSI : 2 ampoules et une prise de courant
- Mosquée : 1 ampoule et une prise de courant
- Maison du directeur de l'école : 2 ampoules et une prise de courant
- Ecole : 4 ampoules 40 W, 5 ventilateurs (plus autres 2 à installer quand le toit sera réparé)

Les régulateurs de la vitesse des ventilateurs ont été modifiés en façon de limiter leurs consommation de courant : la première vitesse a été éliminée.
Par rapport à l'énergie produite par le champ PV chaque jour (4200 Wh) les appareils électriques peuvent marcher correctement sans black-out : maximum 5 h les ventilateurs, 2 h les ampoules (pour les ampoules de l'école ont été calculées 3 heures). Si on veut augmenter le temps d'utilisation d'un des appareils, il faudra diminuer l'utilisation d'un autre.

Exemples de consommation équivalente :

2 ampoules 20 W x 2 heures = 1 ampoule 20 W x 4 heures = 80 Wh
3 ampoules 20 W x 2 heures = 1 ampoule 40W x 3 heures = 120 Wh
1 ventilateur 35 W x 1 heure = environ 1 ampoule 40 W x 1 heure = 40 Wh
Le micro réseau électrique et ses propres points d'utilisation sont en relation avec l'énergie que le système PV peut fournir : si on augmente le nombre d'appareils utilisés il faut obligatoirement diminuer le temps d'utilisation de chacun ou brancher le chargeur de batteries à un groupe électrogène.

6. Utilisation du réseau électrique avec ses propres points d'utilisation

Bâtiment de la maternité au CSI	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	3	20	2	120
Grande ampoule	0	40		0
Ventilateur	3	35	5	525
Autre (prises)	0			0
Autre (prises)	0			0
Total				**645**
Bâtiment principal du CSI	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	6	20	2	240
Grande ampoule	1	40	2	80
Ventilateur	2	35	5	350
Frigo	1	45	24 x 0.5	540
Autre (prises)	6			0
Total				**1210**
Magasin du CSI	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	1	20	0,5	**10**
Maison de la directrice du CSI	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	1	20	2	40
Grande ampoule	1	40	2	80
Autre (prises)	1			0
Total				**120**
Mosquée	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	1	20	1,5	30
Autre (prises)	1	50	1	50
Total				**80**
Maison du directeur de l'école	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Petite ampoule	2	20	2	80
Autre (prises)	1			0
Total				**80**
Ecole	Quantité	Puissance (W)	Temps (h)	Energie (Wh)
Grande ampoule	4	40	3	480
Ventilateur	7	35	5	1225
Autre (prises)	2			0
Total				**1705**
TOTAL SYSTEME				**3850**

Dans le tableau ci-dessus vous trouvez les consommations prévues. Pour les prises de courante les données ne sont notées que pour la mosquée.
En ce qui concerne les prises de courant qui sont à disposition dans certains bâtiments alimentés par le réseau électrique il ne faut pas brancher des charges trop puissantes (moteurs et résistances électriques comme des chauffe-eau). La quantité d'énergie

absorbée à travers les prises (dans le tableau ci-dessus marquées comme « autre ») va diminuer la quantité d'énergie totale à disposition des ampoules et ventilateurs déjà existants.
Pour la sauvegarde des vaccins contenus dans le frigo il est prévu qu'en cas de baisse de tension de la batteries du système (batterie presque déchargée, 44 V) le circuit qui va vers l'école (Ecole, habitation du directeur de l'école, mosquée, habitation de la directrice du CSI) soit automatiquement coupé. Dans ce cas il faut diminuer la consommation d'énergie même au CSI et attendre que le niveau de charge des batteries augmente jusqu'à 46 V ; en ce moment le circuit qui va vers l'école sera automatiquement réactivé.
Cette précaution permet d'informer les utilisateurs qu'ils sont en train d'épuiser les batteries.
En général on peut affirmer que pour une bonne gestion de l'énergie il ne faut jamais laisser un points utilisateur (ampoules et ventilateurs) en marche s'il n'y a personne qui l'utilise. Néanmoins il est mieux de laisser les ampoules au néon allumées plutôt que les allumer et éteindre de manière répétée, pour ne pas les brûler trop rapidement.

7. Entretien du réseau électrique

Parfois il faudra contrôler que les gaines pour la protection des câbles électriques et exposées au soleil soient en bon état.
Une fois par mois il faut essayer les trois disjoncteurs différentiels installés sur le tableau général situé au magasin du CSI. L'opération est la suivante : appuyer sut le bouton « T » et vérifier que le disjoncteur coupe le circuit. Après réarmer le disjoncteurs.
En cas de dispersion de courant il faut vérifier tous les points sensibles du réseau : à l'intérieur des bâtiments (prises, interrupteurs, ampoules, régulateurs de vitesse, etc. ...), et à l'extérieur les connexions au niveau des puisards de dérivation de la ligne principale vers les différentes bâtiments (maison de la directrice du CSI, mosquée, maison du directeur de l'école).

Annexe 2

Extrait de la Communication à la Conférence Internationale de Milan (Septembre 2007) sur l'Energie Solaire Photovoltaïque

SET UP AND MONITORING OF A MINI-GRID PV SYSTEM IN A VILLAGE IN NIGER

Stefano Bechis, Davide Ricauda Aimonino, Andrea Vilianis
Department of Agricultural, Forestry and Environmental Economics and Engineering (DEIAFA)
University of Torino
via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO) Italy
stefano.bechis@unito.it; davide.ricauda@unito.it; av_sugo@yahoo.it

ABSTRACT: A mini-grid PV system has been set up in the village of Toukounous, Filingué province, Niger. The installation serves the village public buildings: the hospital, the school, and the mosque, besides the private residence of the Director of the school and the Director of the hospital. The buildings have been equipped with an electrical system and user points. After the installation the system has been operated for 16 months, monitoring 7 parameters each 10 minutes. In this paper details on the installation and the results of the monitoring are given. This work has been built in the framework of a decentralised cooperation co-financed by Regione Piemonte, Italy.
Keywords: Developing Countries, Villages, Monitoring.

1 INTRODUCTION

1.1 Background

The village of Toukounous is located at 14.5 Latitude North, 3.3 Longitude East, about 200 km North East of the state capital, Niamey. The installation of a PV powered system was decided to supply energy to the public buildings of the village, that had no electric energy supply.

Among the possible solutions it was decided to build a central photovoltaic station, located at the hospital, and to deliver energy to the other main user point, the school, by means of an underground electric line.

In this way the village electric system is suitable for further enhancement in the future, if the inhabitants decide to invest in this direction.

The installation took place in February 2006, and since then the system has been monitored for 16 months by means of sensors and data loggers.

Figure 1: The PV array on the roof of the hospital

The village of Toukounous has 3700 inhabitants, the main activity is animal breeding. Its hospital serves also about other 12000 inhabitants from the neighboring villages. The school is attended by 230 pupils on average, subdivided in 6 classes.

1.2 General framework

The actions described in this paper were carried out in the framework of a decentralised cooperation project co-financed by Regione Piemonte (Italy). The DEIAFA had several partners:

CNES - Centre National d'Energie Solaire, Niamey Niger, which worked on installation and monitoring;

SYRENE - Système Ruraux et Micro Entreprise, Niamey, Niger, which worked on the installation;

PROMEC ELETTRONICA - Ivrea, Italy, the industrial partner which provided the PV system

DPA - Department of Animal Pathology, University of Torino, worked on general organisation, having other active projects in the village.

2 DESIGN AND INSTALLATION

2.1 Objectives

The hospital and the school of Toukounous serve the residents in the village and the inhabitants of neighboring villages. The buildings are in good state, however before this project was carried out there was no electricity supply. The hospital was equipped with a gas fueled refrigerator for vaccines.
The school had seven classes without an electrical plant. The hospital consists of two main buildings, of which one was equipped with electrical wiring and the other was not. The first building has six rooms, while the second has three rooms.

The objectives of electrification by means of a PV station were generally speaking the amelioration of the service given by the school and hospital, following these points:

1. light in school halls to allow evening classes, for pupils and for adults
2. fan operation to ameliorate the living conditions inside the school
3. availability of energy to allow the use of teaching supports such as monitors and projectors
4. light in the hospital to allow activity during the night, especially for urgencies
5. fan operation in the halls to ameliorate the living conditions of the hospitalized persons
6. operation of a vaccine refrigerator.

2.2 The plant

The plant was designed on the basis of a survey on the expected energy needs and the solar irradiance data. The project provided also the electrical plant for the buildings and the user points. The characteristics of the PV plant are reported in Table I. The user points for the school and the hospital are reported in Table II.

Table I: Characteristics of the energy production plant

	unit	value
PV peak power	Wp	2400
Number of PV modules	n	16
PV array area	m^2	22.5
System voltage (DC)	V	48
Battery capacity	Ah	300
Inverter power	VA	3000

Table II: User points

	power (W)	number
Vaccins refrigerator	45	1
Fan	35	12
Neon light	20	14
Neon light	40	5
Sockets	-	10

As the hospital and the school are 340 meters away a single central station with minigrid was chosen. The PV system was implemented on the roof of one of the hospital buildings. The battery, regulator and inverter (Figure 2) were placed in one small building close to the PV array. An underground electric line was placed between the hospital and the school.

Figure 2: The cabinet with regulator and inverter. On the left of the cabinet in the green oval it is visible the Hobo weather station used for data logging

The system has been designed to be suitable for enlargement. The 3000 VA inverter can be coupled if necessary with an equal one to double the output power. To allow this a free slot has been set in the main cabinet. The underground electrical line is composed by a two-wire cable. Each wire has a 6 mm^2 section and has been designed to deliver an increased power if necessary.

Only one building at the hospital and the house of the Director had existing wiring systems, all the other buildings have been equipped in the framework of this project, as well as all the user points. A careful attention has been made in the choice of low consumption refrigerator and lights. The fans have been modified to limit their electric requirements.

2.3 Installation

The installation took place during three weeks in January/February 2006. Workers of all the partners were involved in this action as well as the citizens of Toukounous.

2.4 Maintenance

For the first operation year a regular maintenance had been scheduled, with controls of the plant each month from the partner CNES and every week from a local engineer.

3 MONITORING: MATERIALS AND METHODS

3.1 Objectives and measurements

Monitoring has been set to verify the behavior of the system and to understand the distribution and intensity of the utilization of energy by the beneficiaries. Measures were taken following the recommendations of the documents [3] and [4].

Measurements were taken every ten minutes as the memory of the dataloggers allowed to store the quantity of data deriving from this interval. The monitored parameters are reported in Figure 6.

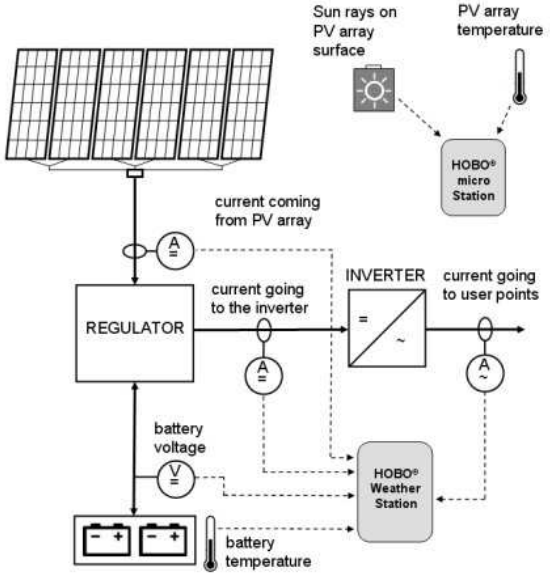


Figure 3: Plant and measurement layouts

3.2 Sensors and data loggers

The sensors used for monitoring the different measures were:

1. Solar radiation on the PV array surface: pyranometer (Figure 4)
2. PV array temperature: thermometer
3. Current coming from PV array to regulator: 57 A current transducer
4. Current going to the inverter: 72 A current transducer
5. Battery voltage: direct reading to data logger
6. Battery housing temperature: thermometer
7. Current going to user points: AC clamp

Figure 4: The solar radiation sensor

Two data loggers were used because of the distance between the PV array and the room where the cabinet with regulator and inverter is placed. On the roof under the PV array a Hobo microstation has been used for the storage of the data coming from sensor no. 1 and 2. A Hobo weather station has been used in the housing of the cabinet for the remaining 5 measures.

As the memory of the data loggers allowed it an interval of 10 minutes in data acquisition was chosen.

3.3 Data elaboration

The recorded data were converted following the conversion characteristic of each sensor. The hourly values were obtained from the records as an average of the data stored each ten minutes. An analysis was carried out to check data consistency, and corrections were made to the values of current coming from the PV array, as the 57 A current transducer introduces a voltage offset error of - 0.05% per degree Celsius exceeding 26 °C. Having recorded the temperature of the room where the transducer was it has been possible to

operate the correction to the data. For the 72 A transducer this adjustment has not been necessary, due to its different characteristics.

Then the derived parameters for performance evaluation were calculated.

4 RESULTS

4.1 Plant

The plant worked regularly and during the months of the raining season (July - September) some short blackouts were observed. Some tests were carried out to understand the reason of this behavior and it was observed that the regulator used to cut the battery charge at a lower voltage than expected. This explained the blackouts, but it was necessary to wait until January 2007 before some modifications could be made on the regulator settings when a mission came from Italy to implement a solution to this problem. After the settings modification the situation ameliorated, with a higher monthly Final Yield (see Figure 5).

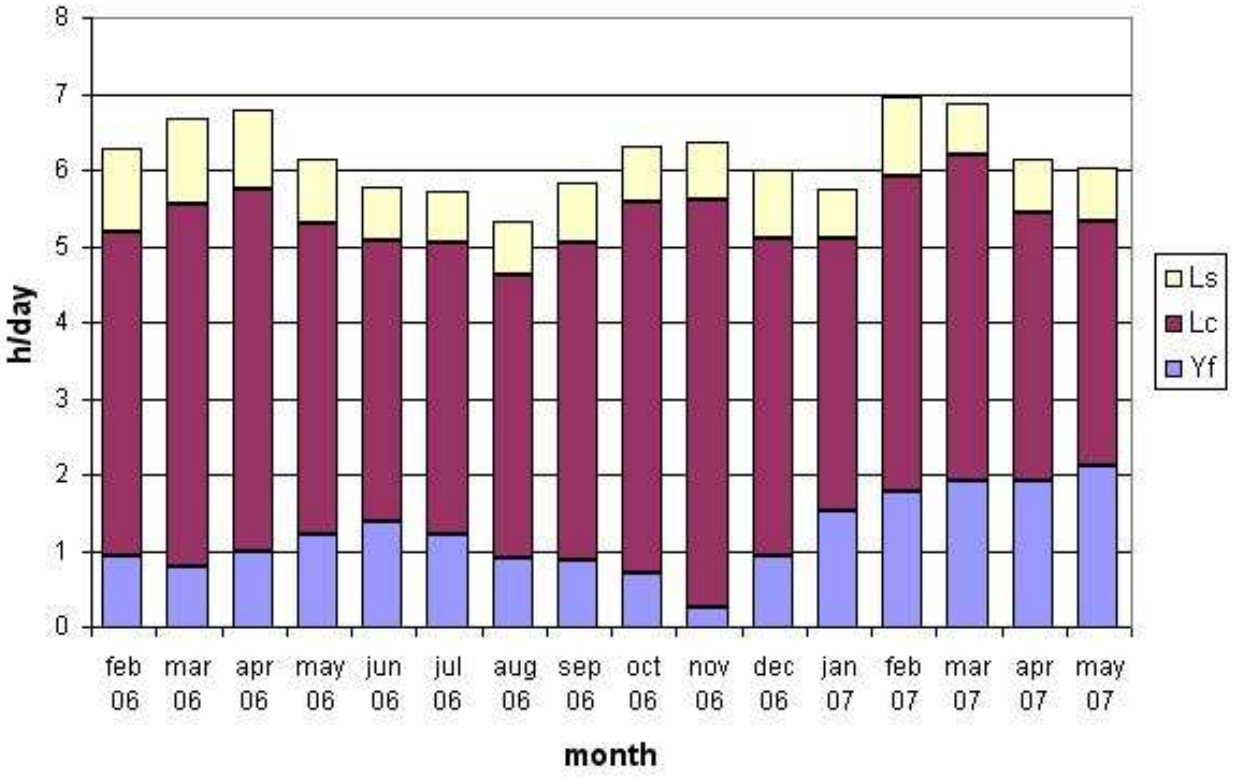


Figure 5: Monthly Final Yields (Yf, light blue), Capture Losses (Lc, magenta) and System Losses (Ls, yellow)

From the graph in Figure 6 the cut of charge operated by the regulator before the correction made in January 2007 is clearly visible.

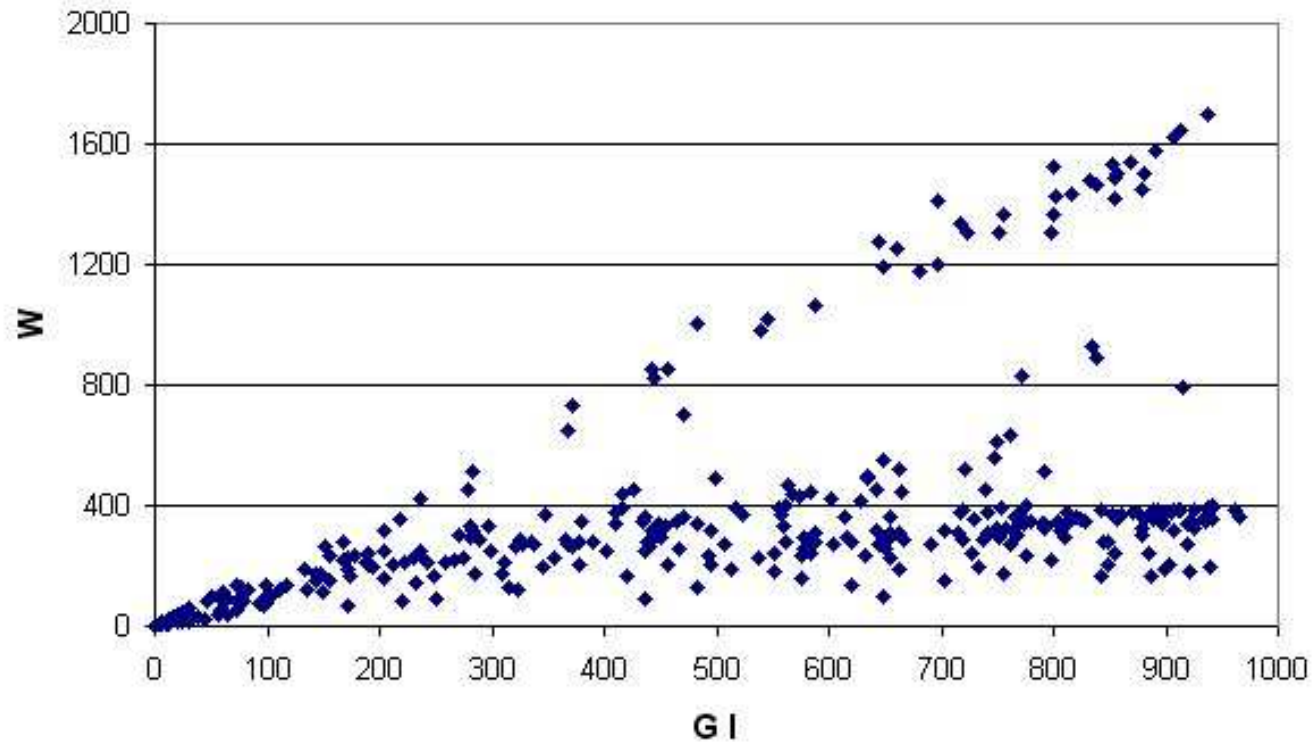


Figure 6: Hourly Mean Array Power vs. Hourly Mean Irradiance (Month of December 2006)

4.2 Monitoring

All the expected data were recovered from the dataloggers. There has been no data loss for all the 16 months.
In Figure 5 the Relationship between Monthly Performance Ratio (PR) and Production Factor (PF) is reported. The eleven values on the left indicate that there has been at least one problem with the system. The reason of this low relationship was investigated and it appeared that the regulations of the battery charge were affected by the high temperatures in the room where the cabinet containing the regulator and the inverter is placed. In January 2007 an intervention on the settings of the regulator ameliorated the situation. After this action the ratio between PR and PF raised up to values between 0.71 and 0.75 (the five points on the right of the Figure 10 graph), which are acceptable even though still not the optimum. A further adjustment on the regulation will be done in the future to raise the battery level of charge.

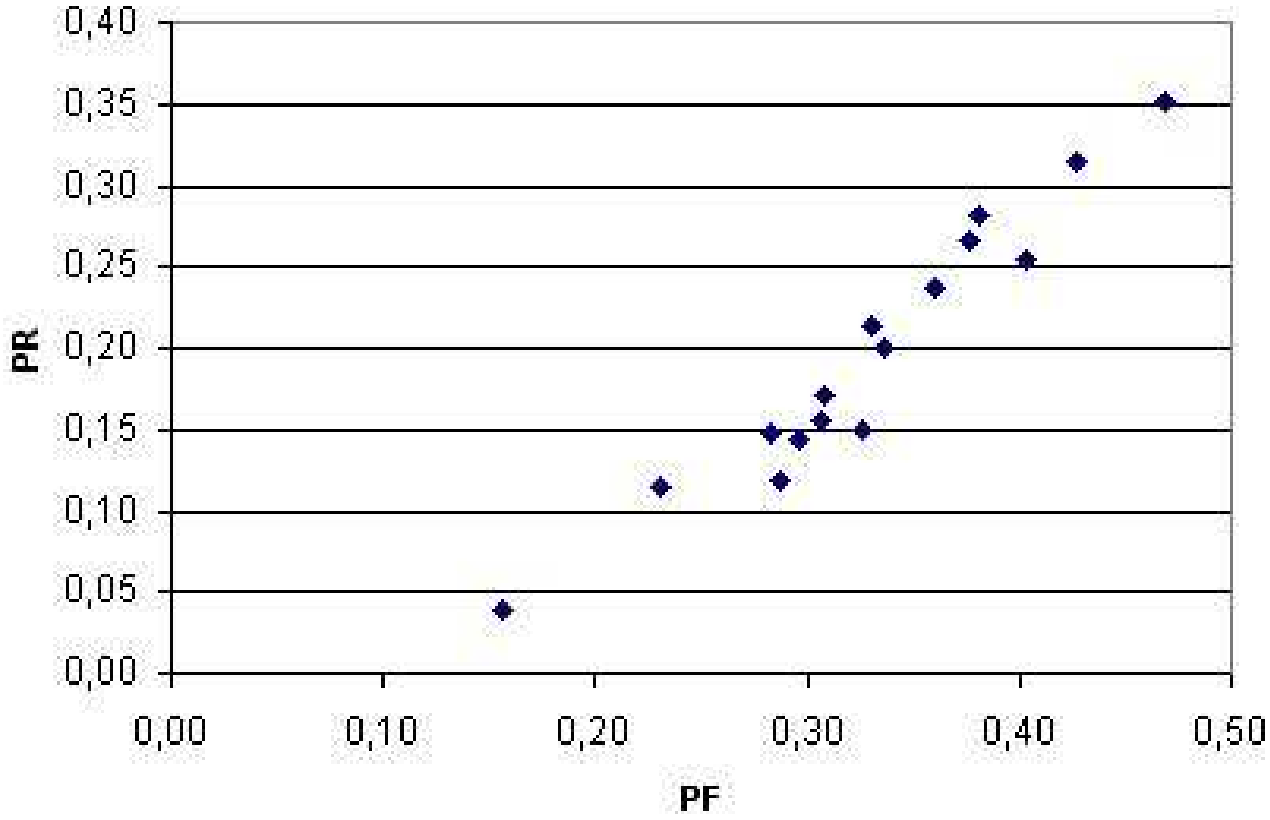


Figure 7: Relationship between Monthly Performance Ratio (PR) and Production Factor (PF).

5 CONCLUSION

The users are quite satisfied with the system. Up to the present days most of all the Sanitary Centre activity did benefit from energy availability. Because of the problem on the roof of the school, this facility did not completely develop its expected capacity. As a consequence the electrical consumptions have been lower than expected, but are likely to attain the expected level shortly. The monitoring has been successful, having been carried out for the scheduled 12 months plus other 4 extra months, without any interruption or data loss.

The monitoring revealed that adjustments were needed to the charge regulation as the high temperatures in the room where the regulator is placed affected the settings of the electronic part. Because of this the indexes like charge loss have been in 2006 too high, but after the problem was discovered it was easily fixed. Further adjustments will be done to reach the optimum performance.

6 BIBLIOGRAPHY

[1] T.A. Lawand, J. Campbell, Photovoltaic generating systems in rural schools in Nequen province, Argentina, Proceedings Village Power '97, Washington D.C. USA april 1997.
[2] J. Campbell, T.A. Lawand, Manual for the use and maintenance of a photovoltaic system, Brace Research Institute, Publications list no. 1 354, Montréal, Canada.
[3] Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants, Document A and B, June 1993, JRC, Ispra, Italy.
[4] International Electrotechnical Commission (IEC), Standard IEC 61724, Photovoltaic System Performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis.
[5] D. Mayer, M. Heidenreich, Performance analysis of stand alone PV systems from a rational use of energy point of view, Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-3), Osaka, 11-18 May 2003.